



# Panorama des solutions douces de protection des côtes

Réseau Atlantique pour la Prévention et la Gestion des Risques Littoraux





Galice (Espagne)

## SOMMAIRE

INTRODUCTION	03
1 - L'ÉROSION DU LITTORAL ATLANTIQUE	07
Les plages	08
Les dunes	09
Les falaises	12
Les marais maritimes	16
2 - LES SOLUTIONS DOUCES DE PROTECTION DES CÔTES	21
Discussion sur la limite méthodes « dures » et méthodes « douces »	21
Les méthodes dites « douces »	22
3 - AIDE À LA DÉCISION POUR ÉLABORER UNE STRATÉGIE DE GESTION FACE À L'ÉROSION CÔTIÈRE	49
Gérer la protection des côtes	49
Arbre de décision	53
CONCLUSION	54
RÉFÉRENCES	54

# INTRODUCTION

## Un littoral riche et varié mais fragile et convoité

Le littoral est un espace fragile et mobile à l'interface de la lithosphère, de l'atmosphère et de l'hydrosphère. L'évolution des environnements littoraux dépend de facteurs d'origine continentale (structure géologique), marine (variations du niveau moyen de la mer, processus induits par les vagues, la marée et les courants associés) et atmosphérique (agents subaériens). La combinaison de ces influences modifie aléatoirement la position du rivage et la morphologie des côtes (plages, dunes, falaises, marais maritimes) à diverses échelles

de temps et d'espace (cf. figure 1<sup>1</sup>).

Environ 16% de la population européenne vit dans des communes côtières. Cette proportion ne cesse d'augmenter. Cependant, cette présence humaine a eu clairement un impact sur l'environnement littoral. De manière générale, les activités économiques imposent une pression sur les zones côtières (augmentation des ouvrages côtiers, extraction de sédiments sur les plages, usage intensif des côtes pour le tourisme, etc.). L'attractivité résidentielle, touristique et économique progresse régulièrement sur la côte atlantique européenne. Les zones côtières remplissent d'importantes fonctions écologiques, sociales et économiques, il

convient de définir un développement durable du littoral passant par la protection des personnes, des biens et des activités, tout en préservant les milieux naturels et leur fonctionnement dans l'écosystème côtier.

L'érosion des plages, des falaises et le recul du trait de côte, ainsi que les risques de submersion des côtes, constituent donc un sujet de préoccupation de plus en plus prégnant pour les communes littorales européennes (20% de l'ensemble des côtes de l'Union européenne sont concernées par ce phénomène), compte-tenu de l'augmentation des enjeux notamment économiques dans des zones soumises à des aléas naturels récurrents.



Galice (Espagne)

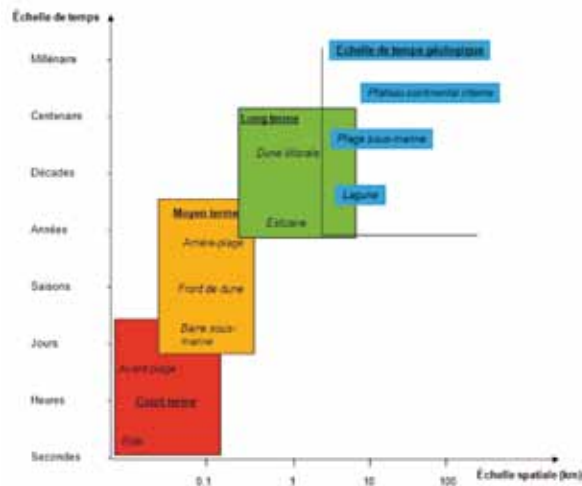


Figure 1 : Concept de temps dans les processus littoraux

<sup>1</sup> Les différents termes sont exprimés dans le chapitre 1.

## Quelques notions essentielles

Un aléa est une probabilité d'occurrence dans une région donnée et à une période donnée, d'un phénomène pouvant engendrer potentiellement des dommages. Les littoraux sont principalement concernés par les aléas de l'érosion, de la submersion marine et des mouvements de terrain.

Un enjeu est un ensemble de biens, personnes, systèmes ou autres éléments présents dans les zones de risque et qui sont ainsi soumis à des pertes potentielles.

L'aléa érosion est, par définition, l'ensemble de phénomènes externes qui, à la surface du sol ou à faible profondeur, modifient le relief par enlèvement de matière solide. Elle peut être naturelle ou anthropique<sup>2</sup>.

L'érosion côtière se manifeste lorsque la mer gagne du terrain sur la terre à cause d'agents tels que le vent, la houle, les marées, etc. Elle est un processus naturel qui a toujours existé

et qui a façonné la côte atlantique européenne tout au long de l'histoire, mais il est aujourd'hui incontestable que son ampleur actuelle résulte aussi de facteurs anthropiques.

Dans de nombreux sites, des solutions pour remédier à ce phénomène, par exemple la construction d'ouvrages lourds de protection, ont aggravé l'érosion sur les zones à protéger et les rivages proches. Ces solutions sont de moins en moins utilisées au détriment de solutions plus douces, qui ont une approche plus environnementale. En outre, les littoraux se présentent comme des infrastructures naturelles littorales dont le rôle majeur est l'augmentation et la préservation de la biodiversité ayant aussi un rôle dans la protection des côtes.

Par ailleurs, l'aléa submersion se révèle particulièrement endommageant pour une côte où la concentration des enjeux ne cesse d'augmenter.

Afin de limiter le phénomène d'érosion inéluctable ainsi que de submersion marine, et donc préserver les espaces naturels et les enjeux, il faut d'une part comprendre l'intérêt et le rôle des infrastructures naturelles littorales telles que les dunes, les falaises et les marais côtiers, et d'autre part envisager des solutions, de préférence, « douces » conçues pour travailler avec la nature en intégrant la dynamique naturelle du littoral et la mobilité du trait de côte. La gestion dynamique du trait de côte est une démarche continue qui varie entre observations et actions et qui durera aussi longtemps que des enjeux seront exposés aux risques côtiers. Un risque est en effet l'ensemble des pertes attendues (biens, personnes, etc.) en raison d'aléas naturels ou anthropiques pour une zone donnée et une période de référence. Le degré de vulnérabilité<sup>3</sup> et l'exposition d'enjeux socio-économiques ou environnementaux aux aléas sont des éléments clés en considérant la sévérité de risques potentiels.



<sup>2</sup> Anthropique : résultat de l'activité humaine sur le milieu naturel.

<sup>3</sup> Vulnérabilité : voir P49



## 2 - LES SOLUTIONS DOUCES DE PROTECTION DES CÔTES

La prise en compte des aléas côtiers (érosion, submersion, mouvements de terrain) dans l'aménagement du littoral, en

vue notamment de préserver des enjeux, peut se décliner en quatre types de solutions (voir p. 51) : le recul stratégique, la non interven-

tion, l'intervention limitée (emploi de solutions douces) et le maintien du trait de côte (emploi de solutions dures et/ou douces).

Parmi ces solutions, deux méthodes de protection des côtes face à l'érosion se distinguent. L'une a pour conséquence de fixer le trait de côte, il s'agit de la méthode dite « dure » ou « rigide ». L'autre a une approche plus environnementale, il s'agit de la méthode dite « douce » ou « souple ». Cependant, selon les cas étudiés, il est difficile de fixer la limite entre les solutions « dures » et les solutions « douces », et parfois les deux méthodes peuvent s'avérer complémentaires.

Les méthodes « dures » (épis, digues, perrés, etc) ont pour rôle principal de protéger des en-

jeux immédiats et de fixer le trait de côte. Si les ouvrages ou technologies employés répondent généralement à ces objectifs de protection, ils présentent cependant et malheureusement de nombreux aspects négatifs à moyen terme. En effet, ces interventions modifient les dynamiques de fonctionnement du milieu aggravant souvent l'érosion côtière à proximité de la zone protégée, et elles sont généralement très coûteuses mais ont une grande espérance de vie.

Les méthodes « douces » sont conçues pour « travailler avec la nature » en intégrant la dynamique

naturelle du littoral et la mobilité du trait de côte (rechargements de la plage en sédiment, travail sur la végétalisation, etc.). Elles ont une durée de vie limitée, sont réversibles et dépendent de leurs caractéristiques propres et des évolutions de l'environnement à l'échelle globale (changement climatique) ou locale (aménagement, fréquentation). L'efficacité du choix de ces méthodes doit être par ailleurs évaluée face au niveau des processus de dynamique côtière (énergie des houles, etc.) et par conséquent à la résistance et «durée de vie » de l'équipement.

### Discussion sur la limite méthodes « dures » et méthodes « douces »

Avant tout, il est important de rappeler que toute mise en œuvre d'ouvrages, qu'ils soient durs ou doux, présente des impacts négatifs lors des travaux sur le milieu environnant (transport sédimentaire et budget, nuisance sonore, trafic routier abondant, utilisation récréative interrompue, perturbation de la biodiversité littorale etc.).

Il est primordial de connaître le besoin réel (connaissance de l'aléa et des enjeux) de protection et l'impact sur l'environnement des différentes techniques. La réponse face au risque peut aussi être modulée dans le temps, ou être combinée entre solution douce et solution dure.

Par ailleurs, la distinction entre solutions «dures» et «douces» n'est pas toujours aisée. Si l'on prend pour exemple les falaises, intervenir uniquement sur une zone instable par l'intermédiaire d'une technique « dure » ou d'une parade géotechnique peut être perçu comme une méthode « douce » en raison de la faible emprise spatiale que représenterait cette zone par rapport à toute la côte. Evidemment, ce n'est pas valable pour tous les secteurs. Cela

dépend de l'emprise de la zone à traiter mais également de celle que représente toute la falaise par rapport à toute la côte rocheuse d'une région donnée (valable aussi pour les plages). Sur les falaises, il est généralement conseillé de combiner plusieurs parades géotechniques entre elles et de les associer à une méthode plus « souple » telle que la végétalisation. L'application de cette méthode n'a pas comme objectif de lutter contre l'érosion mais d'accompagner les processus naturels et d'augmenter la sécurité.

On peut également prendre en considération la nature des matériaux utilisés afin qu'ils s'intègrent dans le milieu environnant.

La réversibilité d'un ouvrage permet également de différencier les solutions « douces » des solutions « dures ». En effet, une technique «douce» (appliquée à une petite surface) reste une technique facilement réversible (peu de conséquences) contrairement aux ouvrages lourds, qui perturbent souvent fortement le milieu environnant et présentent un coût très élevé en cas de suppression (digues par exemple).

Les coûts de ces techniques sont très variables (de quelques milliers d'euros à plusieurs centaines de milliers) en fonction des variantes techniques et locales, d'où le recours à une analyse coût-bénéfice indispensable avant toute intervention (voir p. 49).



Vieux Boucau, Aquitaine (France)

## Les méthodes dites « douces »

### > Les plages

Il existe de nombreuses parades face à l'érosion des plages. La distinction entre méthodes « douces » et « dures » se fait essentiellement selon les critères d'impact sur la dynamique

sédimentaire naturelle et la réversibilité des ouvrages. Ces critères étant eux-mêmes dépendants du choix des matériaux utilisés, de la souplesse des ouvrages, de leur emprise spa-

tiale, de l'impact visuel, etc. Les paragraphes suivants présentent quelques solutions habituellement caractérisées comme « douces », avec leurs avantages et inconvénients.

#### • Les ouvrages en géotextiles



Ouvrages en géotextiles (France)

#### Description

Ils visent à maintenir le sable et peuvent être déployés perpendiculairement (ex. : épis lorsque la dérive littorale domine) ou longitudinalement par rapport au rivage, par exemple pour armer le cœur d'un bourrelet dunaire à l'arrière d'une plage. Ils sont constitués de toiles perméables en fibres synthétiques sous forme de sacs ou de boudins. Ils sont remplis de sable par une pompe refoulante.

#### Avantages

L'impact visuel des ouvrages en géotextiles est souvent moins agressif que d'autres structures de type épis, brise-lames, etc., d'autant plus qu'ils sont souvent recouverts de sable. Lorsqu'ils sont dissimulés et disposés pour former des casiers, les sacs peuvent être utilisés pour le maintien du sable en lui servant d'ancrage (par exemple après le rechargement artificiel sur un estran). Ils sont réversibles et la structure de dernière génération est perméable, souple, résistante aux UV et favorise l'installation de la végétation. La mise en place de ces ouvrages est rapide et reste moins onéreuse que des ouvrages lourds (en enrochements par exemple). Ils perturbent peu l'écosystème littoral.

#### Inconvénients / limites

Les ouvrages en géotextiles présentent les mêmes inconvénients que les ouvrages lourds (ex. : épis, brise-lames), face à la dynamique sédimentaire. Leur rôle étant de limiter les transits sédimentaires, ils entraînent des déficits en sédiments des zones non protégées voisines, accentuant l'érosion. Ayant un rôle limitant la circulation de l'eau, ils peuvent éventuellement entraîner des complications au niveau des aires de baignade notamment en présence de pollution. Comme tout type d'ouvrage, ceux constitués en géotextiles nécessitent un entretien régulier, en particulier face à d'éventuelles dégradations de la part des usagers (notamment en période estivale).

## • Le drainage des plages

### Description

Le système de drainage des plages permet d'abaisser le toit de la nappe aquifère et l'eau déposée par le flux des vagues (ou jet-de-rive<sup>22</sup>) et donc de créer une zone non saturée sous la surface de l'estran, près du trait de côte.

Une ou plusieurs canalisations filtrantes sont installées en profondeur (de l'ordre du mètre sous la surface) parallèlement au trait de côte, elles récoltent ainsi l'eau et la transfèrent par gravité vers un puits. A partir de là, une station de pompage renvoie l'eau vers la mer ou si possible vers des installations de recyclage. Le but principal étant de drainer le toit de la nappe aquifère afin de favoriser le dépôt de sédiment, l'eau descendante s'infiltré en partie et donc elle perd de son énergie. Un autre objectif peut également être de drainer la zone de jet-de-rive pour certains types de morphologie de plage. De cette façon, l'apport de sédiment par la mer est plus élevé que la quantité de sédiment qu'elle enlève (cf. figure 10).

### Avantages

L'impact paysager est nul (excepté lors des travaux) et le sable s'assèche plus rapidement, ce qui est fort apprécié pour les activités récréatives. L'écosystème littoral est peu perturbé (excepté lors des travaux et la nappe souterraine peut éventuellement modifier l'écosystème benthique<sup>23</sup>). Le système de drainage a un rôle efficace lorsque la circulation des eaux continentales (nappes superficielles) participe à l'érosion. Le coût énergétique peut être amorti en utilisant l'eau recueillie par les installations de recyclage (alimentation de bassin aquacole, piscine d'eau de mer etc.).

### Inconvénients / limites

L'utilisation de cet ouvrage reste cependant limitée à certains types de plage. En effet, les sédiments sous l'estran doivent être perméables et épais (entre 0,1 à 0,5 mm) pour permettre la mise en place des canalisations et éviter tout colmatage. De même, il est préférable d'avoir une pente relativement faible (de l'ordre de 1/10 à 1/50). La zone doit être exposée modérément mais régulièrement aux vagues et il faut de faibles variations saisonnières (été/hiver) au niveau du profil de plage. Le rôle des nappes superficielles doit être dominant sur le transport de sédiment (phénomène de thixotropie<sup>24</sup>) par rapport aux autres agents d'érosion. Le drainage affaiblit l'un des processus de l'érosion mais ne résout pas le problème de déficit sédimentaire, en conséquence il convient mieux aux plages de fond de baie (formant à elles seules un compartiment sédimentaire). Il faut enfin prêter attention (suivi) au système électrique de la station de pompage.

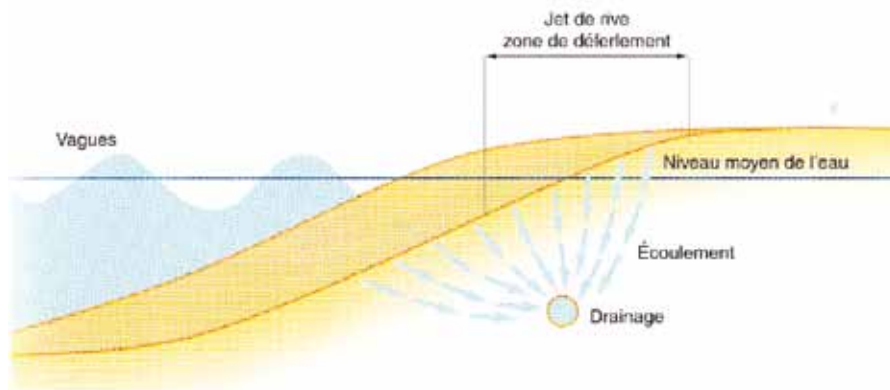


Figure 10 : Système de drainage d'une plage



<sup>22</sup> Jet-de-rive : limite supérieure de la propagation des vagues sur la plage.

<sup>23</sup> Benthique : qualifie les organismes et processus ayant un lien avec le fond de la mer.

<sup>24</sup> Thixotropie : capacité de certaines substances sédimentaires de se transformer en liquides dans lesquelles les particules viennent en suspension (comme les sables mouvants).

## • Les récifs artificiels



Récifs artificiels, Narrowneck (Australie)

### Description

Disposés sur l'avant-côte ou l'avant-plage, les récifs artificiels ont pour objectif de diminuer l'action des vagues sur les plages. Ils ralentissent la dérive littorale et favorisent l'engraissement de l'estran, limitant ainsi l'érosion. Ils agissent comme des brise-lames immergés et sont constitués le plus souvent de sacs ou de boudins en géotextiles, mais d'autres types de matériaux peuvent être utilisés comme du sable, des gros blocs, du béton ou des matériaux tout-venant.

### Avantages

Sur une côte à marnage<sup>21</sup> faible, ils demeurent invisibles, ce qui ne dénature pas le paysage. Contrairement aux brise-lames, ils permettent le maintien d'une agitation de l'eau aidant à son autoépuration et donc sa qualité pour la baignade. Ils participent également à enrichir la biodiversité littorale (faune et flore).

### Inconvénients / limites

Les rivages à fort marnage ne sont pas propices à l'implantation des récifs artificiels. En effet, afin qu'ils limitent l'action des vagues à marée haute, leur structure doit être massive et surélevée, engendrant un impact visuel fort lors des marées basses ainsi qu'un coût trop élevé. Le contexte géomorphologique idéal correspond aux côtes microtidales ou aux plages de fond de baies constituant à elles seules un compartiment sédimentaire.

## • Les pieux hydrauliques

### Description

Les pieux hydrauliques sont constitués de pieux en bois plantés verticalement dans le sédiment (sable ou vase) suivant un espacement régulier. Ils peuvent être implantés parallèlement ou perpendiculairement au rivage sur l'estran, souvent sur plusieurs dizaines de mètres. Ces ouvrages perméables sont utilisés pour dissiper l'énergie des vagues sur la plage, limitant ainsi le transport de sédiments et favorisant la stabilité de la plage.

### Avantages

Les pieux hydrauliques étant perméables, la circulation des sédiments, bien que modifiée, est maintenue, limitant les impacts négatifs de part et d'autres de l'ouvrage. Ils sont relativement faciles à mettre en œuvre et peu onéreux.

### Inconvénients / limites

L'efficacité avérée de ces ouvrages n'est pas systématiquement garantie selon les types de plages, elle est en général assez limitée. Il faut donc établir un suivi régulier pendant une période de temps suffisante pour estimer leur rôle. De plus, ils peuvent constituer des obstacles pour les usagers des bords de mer (promeneurs...) et dangereux pour la navigation maritime s'ils sont détruits et emportés au large.



Pieux hydrauliques transversaux, Cap Ferret, Aquitaine (France)



Pieux hydrauliques transversaux, Mimbeau, Cap Ferret, Aquitaine (France)

<sup>21</sup> Marnage : dénivellation entre le niveau de la pleine mer et celui de la basse mer.



## • Le by-passing

### Description

Le by-passing (ou by-pass), aussi appelé pontage sédimentaire, a pour objectif de rétablir le blocage de la dérive littorale en permettant le franchissement artificiel du transit sédimentaire d'un obstacle naturel (ex. : cap rocheux, débouché de cours d'eau) ou anthropique (épi, digues portuaires, etc.) qui s'oppose à lui (cf. figure 11). Il existe différentes méthodes de by-passing :

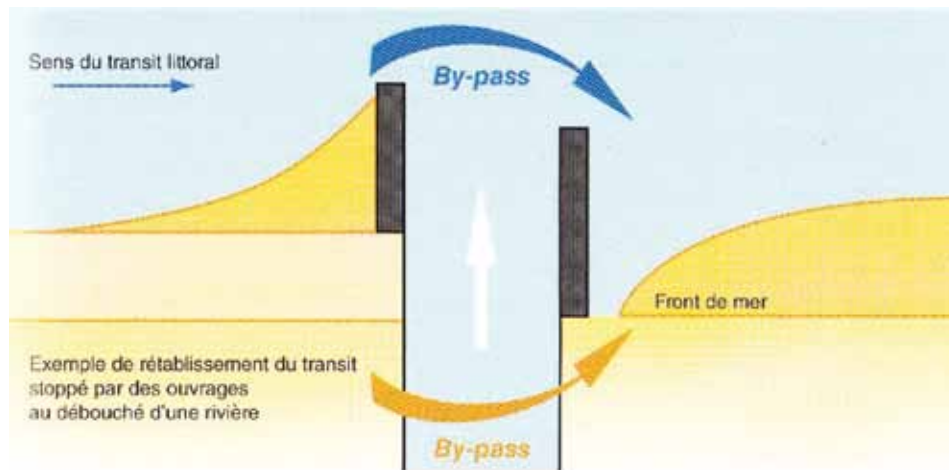


Figure 11 : Système de by-pass

### - Le by-pass hydraulique

par l'installation d'un système de succion d'un mélange de sable et d'eau dans la zone de dépôt (en amont de l'obstacle) et de refoulement en aval de l'obstacle, dans une conduite hydraulique. Le système peut être fixe (permettant un fonctionnement continu) ou mobile (activité modulable dans le temps et l'espace).

### Avantages

Il rétablit le transport naturel des sédiments en équilibrant les zones d'accumulation et d'érosion, sans apport de matériaux exogènes. L'impact négatif sur l'environnement est faible. Le système fixe permet une utilisation continue adaptée aux cycles saisonniers et aux besoins.

### Avantages généraux

Le by-pass permet de rétablir la dynamique naturelle des sédiments. Il peut être facilement mis en œuvre s'il est mécanique (par camion) et représente une solution intéressante de gestion à moyen terme.

### Inconvénients / limites généraux

Les systèmes de by-pass peuvent perturber la biodiversité littorale des zones de prélèvements (destruction des habitats, augmentation de la turbidité de l'eau etc.), et des zones de clapage ou de déversements sur les plages (impacts possibles sur les organismes benthiques). Ce qui peut éventuellement à terme atteindre un écosystème plus large (dunaire ou proche littoral). Au droit des zones portuaires, les sédiments accumulés peuvent être pollués. Dans ce cas, ils ne doivent pas être réinsérés dans le circuit sédimentaire.

### Inconvénients / limites

Mal adapté au déplacement des galets et coûts très élevés.

#### - Le by-pass mécanique

par l'acheminement par camion des sables et galets d'une zone à l'autre.

#### - Le by-pass maritime

par l'utilisation de moyens nautiques (ex dragues). Cela consiste à prélever, transporter et claper les sédiments à marée haute dans les petits fonds et sur l'estran, là où il y a un déficit sédimentaire.

#### Avantages

Coût relativement faible et moyens techniques facilement mobilisables.

#### Avantages

Il convient à tous types de sédiments et à des opérations périodiques.

#### Inconvénients / limites

Lors des travaux, cela entraîne de multiples nuisances (par exemple sonores) pour les riverains et pour la voirie, des coûts proportionnellement élevés à la distance des zones d'apport.

#### Inconvénients / limites

Le site de prélèvement doit être facile d'accès et proche de la zone à traiter (dans le cas contraire, cela peut générer des coûts élevés). Les manœuvres nautiques sont rendues difficiles dans les zones fortement battues par la mer, notamment le clapage dans la zone de déferlement des vagues.

### • L'alimentation artificielle des plages en sédiments (ou rechargement des plages)

#### Description

Les rechargements de plage ont pour objectif de compenser le déséquilibre du littoral dû à l'érosion naturelle et/ou aux impacts anthropiques (présence d'ouvrages de défense). Le but est d'alimenter les plages en matériaux (sables, galets) qui sont exogènes de la cellule sédimentaire, par camion, dragues en mer, etc. Les sédiments sont étalés sur la plage par des

machines de terrassement. Cette méthode est couramment pratiquée sur de nombreuses façades maritimes aux Etats-Unis, aux Pays-Bas, sur la côte adriatique de l'Italie, sur la côte méditerranéenne de l'Espagne, etc. Les rechargements peuvent être ponctuels dans le temps ou se faire régulièrement, après chaque hiver par exemple. Chaque intervention doit être adaptée en fonction de l'analyse de la nature

et la taille des matériaux, la bathymétrie, les peuplements des petits fonds, le régime des houles, les courants littoraux, etc. Il faut aussi connaître la vitesse moyenne annuelle de recul du trait de côte. Des modèles numériques (exemple GENESIS<sup>25</sup> aux Etats-Unis) et des méthodes empiriques (méthode privilégiée aux Pays-Bas) permettent d'estimer le volume de sédiments nécessaires.



Alimentation de la plage en sable

#### Avantages

Le rechargement de plage permet de rétablir un profil d'équilibre de la plage, la protection vis-à-vis des agents d'érosion telles que les vagues de tempête (effet de «zone tampon»), le maintien d'estrans larges et par conséquent la préservation des usages (activités de récréation) et des enjeux. En outre cette méthode n'a pas de conséquences néfastes pour les plages voisines, à contrario d'autres méthodes, et peut les alimenter de manière indirecte par l'apport de sédiments. Le réensablement permet également de rehausser la pente de la plage, dans un but de prévention contre l'élévation du niveau de la mer. L'impact paysager est nul.

#### Inconvénients / limites

Les matériaux prélevés doivent être situés proche du site de dépôt pour limiter les coûts. De plus, le volume du gisement doit être suffisamment important pour toutes les opérations d'alimentation (rechargements réguliers). Une bonne qualité des sables ou galets est primordiale (ne pas apporter des sédiments pollués ou plus fins que ceux de la plage rechargée). Certaines configurations se prêtent mal à ces méthodes (fortes houles, difficultés d'accès, granulométrie des sables, etc.). Le rechargement en galets est plus rare car les moyens techniques sont plus lourds et plus coûteux. Les dragages et les déversements peuvent perturber la biodiversité locale des zones de prélèvement et de dépôt (destruction des habitats, augmentation de la turbidité de l'eau etc.).

<sup>25</sup> Generalized model for simulating shoreline changes.



Alimentation de la plage en sable

### Remarques

L'étude Eurosion<sup>26</sup> (2004) recommande d'identifier les « réserves stratégiques de sédiments » disponibles pour l'alimentation artificielle des plages. Ces réserves peuvent être localisées sur d'autres plages (et choisies logiquement par rapport à la dérive littorale), dans les terres (dunes, carrières) ou au large.

Le profil de rechargement est également important. Il peut se déterminer par les connaissances des profils de plage ou par l'utilisation d'un modèle mathématique (Dean, 2000).

Il faut aussi prendre en compte les saisons : mieux vaut effectuer le rechargement à la fin

de la « mauvaise » saison (après l'hiver). Cette méthode n'est pas définitive. Il convient souvent de prévoir un premier rechargement massif suivi par d'autres apports moins importants après une ou plusieurs saisons. Le budget doit donc se prévoir sur plusieurs années. C'est pourquoi il est nécessaire d'effectuer un suivi de la plage (analyse topo-bathymétrique) pendant et après travaux sur une durée de l'ordre de quatre à cinq ans. Ceci dans le but de caractériser la mobilité du trait de côte et de quantifier les volumes de sédiments à prévoir pour les futurs rechargements.

- Cas d'étude : le système de by-pass de Capbreton, Landes, Aquitaine (France)

### Domaine d'application

L'élargissement rapide (environ 200 m) de la plage située sur le côté nord de la digue du chenal du Boucarot, correspond au transit sédimentaire (environ 100 000 m<sup>3</sup> /an) orienté vers le sud. Sans intervention, les sables contournent l'ouvrage et bouchent l'entrée du chenal. Les conséquences de cet ouvrage bloquant la dérive littorale ont été un accroissement de l'érosion (déjà naturellement présente) sur les plages au sud. La réaction a consisté dans un 1er temps à renforcer les ouvrages lourds (perrés, épis, enrochements de haut estran). De 1983 à 2007, 15 000 m<sup>3</sup> /an de sable ont été prélevés au nord du chenal par la municipalité de Capbreton afin d'alimenter les plages au sud (acheminement par camion).

### Démarche

Un système de by-pass hydraulique a été mis en place en 2008 afin de remplacer le système par voie terrestre (nuisances supprimées et volume de sable déplacé augmenté) (cf. figure 12): les sédiments, mélangés à de l'eau (prise dans le chenal du cours d'eau nommé le Boucarot), sont prélevés mécaniquement au niveau de la plage nord pour ensuite être déversés sur les plages au sud dans une conduite rigide enterrée et équipée de bouches de sortie espacées pour répandre le sable sur les estrans.

### Bilan et perspectives

Le coût de l'installation est estimé à 1,2 - 1,3 million d'euros HT. Le projet prévoit un apport initial de 100 000 m<sup>3</sup> de sable et des recharges annuelles de l'ordre de 75 000 m<sup>3</sup> étalées sur 12 à 15 semaines dans les mois précédant la saison estivale (d'après R. Paskoff & C. Clus-Auby, 2007).

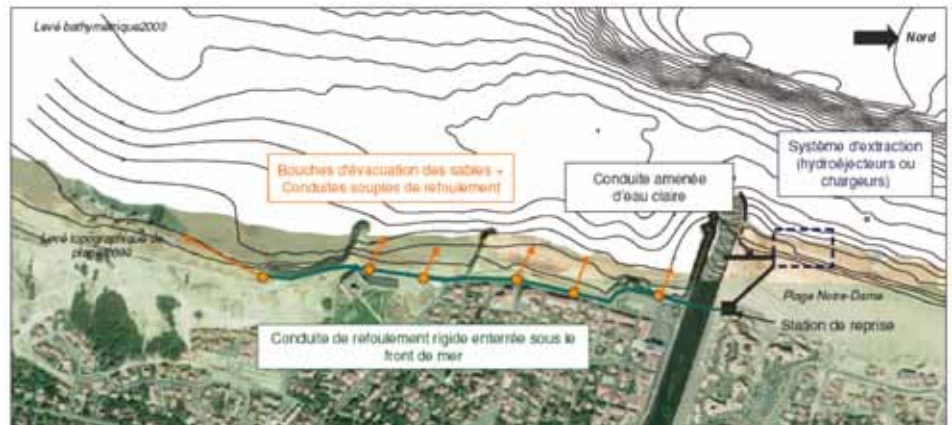


Figure 12 : Le système de by-pass hydraulique

<sup>26</sup> Eurosion (2004) Vivre avec l'érosion côtière en Europe – Espaces et sédiments pour un développement durable. Conclusions de l'étude Eurosion. 21p.

## > Les dunes

Il est question ici de gestion plutôt que de protection. Aujourd'hui, les dunes ne sont plus considérées uniquement comme une source de risques d'ensablement, mais comme un paysage de haute valeur patrimoniale et un ouvrage de protection souple des littoraux sableux. L'objectif de gestion est multifonctionnel, il s'agit à la fois de protéger l'arrière-pays, de conserver un écosystème rare et original, d'économiser une ressource sédimentaire limitée, et de participer à la prévention des risques d'érosion et de submersion.

Les travaux de contrôle de la mobilité des dunes littorales s'appuient sur une connaissance fine des situations locales et s'inscrivent dans la logique des processus naturels. Il s'agit d'un contrôle souple.

La volonté de conserver des écosystèmes typiques, fonctionnels et diversifiés implique le maintien des processus naturels qui contribuent à la genèse et au fonctionnement des dunes, l'exclusion des reboisements de dunes

grises et de toute introduction d'espèces exogènes, et enfin un usage très limité des remodelages mécaniques.

L'objectif de protection de l'arrière-pays requiert cependant une modération de l'érosion éolienne pour éviter une remise en mouvement généralisée du système risquant de menacer les biens et les personnes (ensablement). Les dunes sont principalement concernées par le transport éolien qui peut être contrôlé par des méthodes douces de protection. Remplir efficacement un rôle d'amortisseur de l'érosion marine nécessite le maintien de la solidarité transverse entre dune et plage. En effet, la dynamique dunaire est dépendante de la dynamique marine qu'elle peut influencer à son tour. Une partie de l'alimentation sédimentaire des plages est assurée par des prélèvements en pied de dune.

Le choix de souplesse implique la possibilité de translation vers l'intérieur des terres en cas d'érosion marine chronique. Ce recul éventuel

pourra se faire sans dommages si la largeur des dunes sans enjeux urbains est suffisante ; une largeur minimale de 300 et 500 mètres est nécessaire.

L'expérience montre que les entretiens réguliers sont nettement moins coûteux que de lourdes restaurations périodiques.

Les choix d'action s'appuient sur un écosystème de référence. Pour les dunes du littoral atlantique, il correspond à la succession la plus complète possible des faciès écodynamiques<sup>27</sup>. C'est cette mosaïque paysagère qui donne aux dunes une meilleure résilience<sup>28</sup> face aux perturbations (naturelles ou anthropiques) et qui génère des paysages attractifs et variés.

Le contrôle souple s'appuie sur la réduction de la vitesse du vent et la création de conditions favorables au développement du tapis végétal des espèces locales. Les principales techniques de base de ce contrôle sont les couvertures de branchage, les brise-vents et les plantations.

Cependant, cette précédente méthode a montré ses limites : remise en cause brutale du tapis végétal, réduction drastique de la géodiversité<sup>29</sup>, manque d'adaptation aux différents contextes dynamiques...

Actuellement, ces remodelages sont réservés à des situations particulières dans lesquelles le choix de souplesse n'est plus possible, notamment en front de zones urbanisées.



Les Cantines, Aquitaine (France)

<sup>27</sup> Ecodynamique : paramètres permettant la caractérisation d'un écosystème et de sa dynamique ou évolution dans le temps.

<sup>28</sup> Résilience côtière : capacité naturelle du milieu à se reconstituer et adaptation du milieu face aux changements provoqués par exemple par la hausse du niveau marin.

<sup>29</sup> Géodiversité : diversité géologique (roches, minéraux, fossiles), géomorphologique (formes du relief) et pédologique (sols), générées par les processus dynamiques.





Pyla, Aquitaine (France)

- Les couvertures de débris végétaux

### Description

Elles provoquent une accumulation des sédiments. Les deux types les plus répandus sont les couvertures planes de branchages fins (buissons de Genêt, de Bruyère à balais...) étalés manuellement et les couvertures mécaniques de gros branchages (Pin maritime, Chêne vert...).



Messange, Aquitaine (France)



Cap-Ferret, Aquitaine (France)

### Matériaux

La plupart des débris et branchages végétaux sont efficaces pour freiner la vitesse du vent. Cependant, le souci de conserver au milieu un grand degré de naturalité réduit les possibilités. Les matériaux suivants doivent être exclus :

- les branchages verts susceptibles de bouturer;
- les branchages qui introduisent des espèces exogènes indésirables (déchets de jardin, exemple : Yucca) ;
- les branchages trop grossiers et les souches, dont l'action n'est pas optimale (points durs), et qui créent des nuisances paysagères.

### Avantages

Les couvertures de branchages réduisent fortement la vitesse du vent au niveau du sol, ce qui modère -ou supprime- l'érosion éolienne. Dans les zones de transit sableux, elles provoquent une accumulation, ce qui permet de combler des zones déprimées pour reconstituer des profils aérodynamiques.

Par ailleurs, cet apport de matière organique favorise la reprise et le développement des communautés végétales (nutriments et humidité). Les couvertures de branchages peuvent aussi avoir un effet dissuasif limitant la fréquentation et le piétinement.

### Inconvénients / limites

Cette technique est efficace dans toutes les situations d'érosion (déflation<sup>30</sup>) ou de déflation-transit. Les zones d'accumulation n'ont pas à être couvertes, leur dynamique sera contrôlée par le traitement amont des zones en érosion. Cependant on doit absolument limiter l'extension des couvertures, soit pour des raisons écologiques (les couvertures sont source de rudéralisation<sup>31</sup>, le transport par engins engendre des dégradations...), soit pour des raisons paysagères, soit pour des raisons économiques.

<sup>30</sup> Déflation : enlèvement de particules légères et sables fins du sol.

<sup>31</sup> Rudéralisation : dégradation d'un milieu naturel sous l'influence humaine (se traduisant par un apport d'azote essentiellement), favorable aux plantes rudérales (qui préfèrent les sols riches en éléments nutritifs) et défavorable aux plantes originelles.

## • Les brise-vents

### Description

Ils réduisent la vitesse du vent à proximité du sol, ce qui limite la déflation et provoque le dépôt du sédiment transporté.

Ce sont des obstacles verticaux de perméabilité et de hauteur variable.

L'utilisation de rideaux brise-vent dans la lutte



contre l'érosion éolienne est ancestrale, avec des matériaux très diversifiés.

Les brise-vents sont légers, à base de palissades de végétaux (bruyère à balais, lattes de châtaignier, ...) ou de treillis plastiques. Les matériaux naturels utilisés sont biodégradables telles que les ganivelles de châtaignier,

### Avantages

Cette technique est bien adaptée pour combler des zones déprimées que l'on souhaite surélever.

La pose de brise-vents peut être associée à d'autres techniques, par exemple couvertures de branchages dans une zone déprimée lorsqu'une altitude satisfaisante est obtenue, ou bien plantation d'Oyat (et/ou d'Agropyron), qui complète, et « naturalise » l'action des brise-vents.

### Exemples de construction

C'est en zone frontale, dans les secteurs de côte qui connaissent une alternance entre phases d'érosion marine et phases de répit, que l'usage de brise-vents est le plus fréquent (voir photos)

puis les filets en fibres de coco.

Les rideaux brise-vent sont opérationnels dans les zones de transit sableux où ils peuvent rapidement se charger de sable. C'est principalement en zone frontale, pendant les phases de répit de l'érosion marine, que la pose de brise-vents est fréquente, et efficace.

### Inconvénients / limites

On doit éviter le choix de cette technique dans différentes situations telles que :

- zones de déflation dominante, les couvertures y sont plus efficaces ;
- siffle-vents trop étroits : déchaussement par dessous et aux extrémités ;
- secteurs chaotiques : difficultés de pose et déchaussement partiel ;
- secteurs très fréquentés : difficultés de maintenance ;
- fortes pentes : difficulté de mise en œuvre, et dominance de la déflation ;
- proximité du trait de côte en secteur d'érosion marine chronique etc.

## • Plantations

### Description

Sur les dunes régulièrement entretenues et ne subissant pas une fréquentation excessive, la dynamique naturelle suffit en général pour assurer une couverture végétale satisfaisante en recouvrement et en diversité. En dehors des chantiers de réhabilitation des dunes, les plantations sont peu étendues.

### Avantages

Les végétaux utilisés permettent de fixer les sédiments à leurs racines, ce qui limite la perte de sédiments provoquée par l'action du vent. Cette méthode peut être associée à d'autres techniques (voir les brise-vents ci-dessus).

### Inconvénients / limites

Le nombre de végétaux utilisés est réduit, la principale espèce est l'Oyat en France (le Gourbet des aquitains), poacée (graminée) cespiteuse<sup>32</sup> dotée de fortes adaptations au milieu : très grande résistance à l'ensablement, tolérance au mitraillage par le sable et à une salinité modérée etc. Au Portugal, l'espèce étudiée est le lichen.

D'autres végétaux indigènes peuvent être plantés ou semés sur les dunes (Armoise, Immortelle...), cependant, c'est l'Agropyron (Agropyron junceum) qui a connu le plus grand développement au cours de la période récente en France. Cette graminée caractéristique des avant-dunes, très résistante à la salinité, est mieux adaptée que l'Oyat en pied de versant externe des cordons dunaires.

<sup>32</sup> Cespiteuse : qui forme à sa base une touffe compacte.

- Pratiques du contrôle souple modulées selon le contexte géographique et dynamique

Les stratégies d'intervention sont à adapter aux conditions locales. C'est principalement le budget sédimentaire des différents tronçons de côte qui impose des modalités d'intervention diversifiées :

- **dans les secteurs en recul fort et constant:** limitation de l'étalement des sables vers l'intérieur. Cette modération des processus permet aux communautés végétales de l'arrière-dune de s'adapter progressivement aux nouvelles conditions ;
- **dans les secteurs d'alternance de phases d'érosion marine et de phases de répit :** mode de fonctionnement fréquent sur la

côte atlantique. Pendant les phases de répit de l'érosion marine, des travaux peuvent être engagés pour stocker une partie du sable au plus près de sa source et favoriser le développement des avant-dunes et d'un versant externe aérodynamique ;

- **dans les secteurs en accrétion nette** (peu fréquents) : de nouveaux cordons se développent à l'avant des anciennes dunes

blanches<sup>33</sup> qui se stabilisent progressivement. Ces secteurs offrent une opportunité de laisser se développer sans entrave la dynamique éolienne. Sous réserve d'y empêcher le piétinement, les travaux de contrôle peuvent y être de très faible ampleur.

La bonne gestion des dunes ne peut être déconnectée de celle des plages : l'échange continu d'énergie et de matière entre ces deux compartiments est à la base de la vitalité, et de l'efficacité, du système plage/dune. La rupture de ces échanges entraîne la perte de tout ou partie des services rendus, d'où l'intérêt des plans de gestion des sédiments préconisés par le programme « Eurosion » (2004).

Tous les actes de gestion des plages doivent tenir compte des divers rôles des plages : accumulation sédimentaire en constant réajustement pour un bon amortissement de l'énergie incidente, lieu de vie d'une faune et d'une flore très originales etc. Le système estran et barre intertidale par exemple, joue un rôle important dans la dissipation de l'énergie des vagues le long de la côte. Intimement liées avec le haut

de plage et la dune, les barres intertidales doivent être préservées si la protection naturelle contre l'érosion est exigée. Les nettoyages de plage doivent éviter l'extraction de sédiments, leur impact peut être considérablement limité en développant des politiques de nettoyage sélectif qui laisse en place la matière organique.



Arcachon, Aquitaine (France)

<sup>33</sup> Dunes blanches : zone de forte accumulation sableuse (présence forte de végétaux), obstacle entre la plage et l'arrière-dune



## • Cas d'étude d' Algarve, secteur de Quarteira – Cacela, côte sud du Portugal

### Localisation et contexte naturel

Le secteur côtier de Quarteira – Cacela se situe sur la côte sud du Portugal entre le bord de mer de Quarteira à l'extrême ouest du secteur et la plage de Manta Rota à l'extrême est du secteur. Il s'étend sur 63 km le long de la côte, sur la majeure partie du système d'île barrière, Ria Formosa. Le secteur de l'arrière-plage change de l'ouest à l'extrême est : tout d'abord une falaise, suivie par un système dunaire des îles et péninsules de Ria Formosa. Le système de baies est situé derrière l'île barrière et comprend des marais salés, des estrans et un réseau complexe de chenaux naturels et partiellement dragués, tous inclus dans le domaine du Parc Naturel.

Le système d'îles barrières comprend cinq îles et deux péninsules, séparées par six passes : deux artificiellement repositionnées (Ancão

et Fuseta), deux artificiellement ouvertes et maintenues par des structures côtières fixées (Faro-Olhão et Tavira) et deux passes naturelles (Armona et Lacém).

### Désordres observés

Une partie de la côte située sur la partie ouest du secteur est soumise au processus d'érosion depuis plusieurs décennies. Ce phénomène s'est accéléré avec la construction des jetées de Vilamoura marine, celles du port de pêche à l'est et le champ d'épis protégeant Quarteira. Cette série d'ouvrages « durs » transversaux au rivage interrompt le transport sédimentaire, causant un appauvrissement sédimentaire vers l'est de Quarteira et par conséquent le recul des falaises rocheuses. Toujours à l'est de Quarteira, un autre site est concerné par une forte érosion locale en raison de l'impact

négalif des ouvrages anthropiques : la plage de Faro. En effet, la construction d'infrastructures avancées et la limitation conséquente de l'expansion naturelle du profil de plage a causé la diminution de la largeur de la plage, le recul du trait de côte et des épisodes fréquents de débordements de la dune pendant les tempêtes maritimes. Dans la partie est du secteur, qui comprend l'est du système d'îles barrières, les endroits majeurs d'érosion sont localisés vers l'est des jetées qui ont été construites pour fixer les deux passes Faro-Olhão et Tavira. Le processus naturel de transport sédimentaire associé à l'appauvrissement des dépôts de sédiments cause l'affaiblissement du front de dune. Les récents événements de tempêtes maritimes provoquent ainsi des épisodes de débordements et parfois des brèches du front de dune.



Forte Novo – rechargement de l'estran Garrão, 2010 (Portugal)



Port de pêche de Quarteira et épis, vers l'est de Vilamoura marine (Portugal)

### Pressions et actions de gestion

La côte sud du Portugal est un secteur phare pour le tourisme local et l'économie du pays. C'est pourquoi le recul des falaises et des dunes, la diminution de la largeur de la plage et parfois la destruction d'infrastructures, nécessitent des mesures de protection et de gestion côtière par les autorités locales. Bien que la stratégie actuelle soit de fixer la position du trait de côte (en limitant le recul des falaises, la dégradation et le débordement des dunes), dans certains secteurs

à enjeux significatifs (de forte valeur naturelle ou économique, comme des lieux de vacances), il a été décidé de laisser faire le recul du trait de côte. Cette décision fut prise malgré la forte pression exercée par la population locale qui refuse toute délocalisation (dans de nombreux cas, les habitations s'étendent jusqu'aux dunes) et qui exige une protection de la côte par l'intermédiaire d'ouvrages lourds.

Afin de faire face à cette pression, les autorités locales ont mis en œuvre des mesures de

protection et de réhabilitation de la plage. Les interventions récentes de protection sont basées sur le rechargement des plages devant les falaises ou également par la réhabilitation du système dunaire des îles barrières. Les sources sédimentaires disponibles sont des stocks sous-marins et les dépôts de dragage provenant des baies. D'autres mesures de gestion et de réhabilitation des dunes sont mises en œuvre telle que les plantations de végétaux.

## CONCLUSION

Les littoraux offrent de nombreux services. Leur rôle dans la protection des côtes (de par leur forme) et leur diversité biologique permet d'en faire des infrastructures naturelles littorales variées. Cependant, des efforts doivent être faits afin d'améliorer la résilience des espaces littoraux par une meilleure gestion des sédiments et par la préservation d'un espace suffisant pour les processus côtiers. Il faudrait renoncer à l'idée de réaliser un aménagement définitif mais au contraire il est conseillé d'intégrer un cycle d'actions alternant entre phases

d'observation et d'intervention. La seule action définitive envisageable sur le moyen et le long terme reste le recul stratégique hors de la zone menacée par les risques d'érosion. S'il n'y a pas d'enjeux importants, il est inutile de lutter contre les phénomènes d'érosion. Dans certains cas, ces phénomènes peuvent être bénéfiques pour les écosystèmes (fonctions écologiques des zones humides telles que les marais, maintien des paysages identitaires). Le présent document, destiné aux gestionnaires du littoral, présente un panel de solu-

tions afin de limiter l'érosion côtière et met en avant l'importance des solutions dites « douces » dans la mesure du possible, avec leurs avantages et inconvénients. Bien souvent, ces solutions douces ne sont pas définitives et peuvent parfois être combinées avec des solutions « dures » pour protéger des enjeux menacés à court terme. Mais il est rappelé que sur le long terme il est illusoire de vouloir fixer définitivement le trait de côte sans impact environnemental fort et de lourds investissements économiques.

## RÉFÉRENCES

- Albinet V., Bayer P., Barbel P., Barrere P., Becet J.-M., Chauvin A., Favennec J., Fransaer D., Gérard B., Guibert P., Howa H., Legrain D., Le Nindre Y.M., Leroi E., Miossec A., Monbet Y., Moulis D., Oliveros C., Piraud J., Sornin J.-M., Van Heuvel T. and Verger F. (1999) - Le littoral. Manuels et méthodes. BRGM. 351 p.
- Battiau Queney Y. and Clus-Auby C. (2010) - Les ateliers de l'EUCC-France. De la connaissance des systèmes littoraux à la gestion intégrée des zones côtières. Union des océanographes de France. 186 p.
- Communications écrite et orale (documents Power Point) du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM).
- Communication écrite (document Word) de das Neves, 2011.
- Communication écrite (document Word) de l'Office National des Forêts (ONF).
- Communication écrite (document Word) de L'Université Nationale d'Irlande à Galway (NUIG).
- Consulmar, Hidroprojecto and Risco, (1989) - Study of the littoral between the Vilamoura harbour and the western jetty of Rio Guadiana. Lisboa. 109 p (in Portuguese).
- EuroSION (2004) - Vivre avec l'érosion côtière en Europe – Espaces et sédiments pour un développement durable. Conclusions de l'étude EuroSION, format PDF, 21p.
- Favennec J. (2002) - Connaissance et gestion durable des dunes de la côte atlantique. Manuel récapitulatif des enseignements du projet européen Life-Environnement de "Réhabilitation et gestion durable de quatre dunes françaises". 394 p., 4 ann.
- French P.W. (2001) - Coastal defences. Processes, Problems and Solutions. 366 p.
- Genna A., Capdeville J.P., Mallet C., Deshayes L. (2004) - Observatoire de la Côte Aquitaine - Etude géologique simplifiée de la Côte Basque. Rapport final BRGM n°RP-53258-FR, 42 p., 25 ill.
- Goeldner-Gianella L. (2008) «Dépolderiser en Europe occidentale. Les apports d'une géographie sociale de l'environnement à l'étude du milieu littoral», Université de Nantes, 6 décembre 2008
- Gouguet L. (2010) - Gestion de l'érosion côtière. 60-66.
- MEEDDM (2010) Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer (2010) - La gestion du trait de côte. Quae. 978-2-7592-0360-4, 290 p.
- Nédellec J.L., Zornette N., Mathon C., Aubié S., Imbault M.H. (2005) - Observatoire de la Côte Aquitaine – Evolution et cartographie de l'aléa mouvements de terrain sur la Côte Basque. Rapport final BRGM n°RP-52783-FR, 41 p., 9 ill., 2 ann.
- Pacheco, A., Ferreira, Ó., Williams, J.J., Garel, E. Vila-Concejo, A., Dias, J.A., (2010) - Hydrodynamics and equilibrium of a multiple inlet system. Marine Geology, 274 (1-4), pp. 32-42.
- Paskoff R. (2006) - Les littoraux - Impact des aménagements sur leur évolution. Armand Colin. 260 p.
- Paskoff R. and Clus-Auby C. (2007) - L'érosion des plages - Les causes, les remèdes. Institut océanographique. 978-2-903581-47-3, 184 p.
- SOGREAH (2003) - : Etude de l'évolution du trait de côte du littoral de Capbreton.
- Phase 1: diagnostic de l'état actuel, 30 p. + annexes.
- Phase 2 : modélisation mathématique de l'évolution du trait de côte et incidence sur le risque littoral, 29 p + annexes.
- Phase 3 : recherche de solutions d'aménagement du littoral, 56 p. + annexes.
- Veloso Gomes, F.; Taveira Pinto, F.; das Neves, L. & Pais Barbosa, J. (2006). EUrosion - A European Initiative for Sustainable Coastal Erosion. Pilot Site of River Douro - Cape Mondego and Case Studies of Estela, Aveiro, Caparica, Vale do Lobo and Azores, 317 p, ISBN 972-752-074-x.



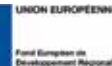
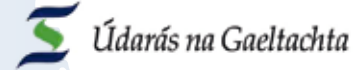
Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos



Universidade de Vigo



LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL



Le projet ANCORIM est cofinancé par l'Union européenne dans le cadre du programme INTERREG IVB - Espace Atlantique, "Investir dans notre avenir commun"



Pointe de Gâvres, Bretagne (France)

#### Coordination pour le projet éditorial

BRGM (France)  
Région Aquitaine (France)

#### Edition

BRGM et ONF (France)  
Avec la contribution du partenariat Ancorim

#### Direction de publication

Directeur de la publication: Alain Rousset  
Co-directeur de la publication : Philippe Buisson  
Directrice de la communication : Corinne Descours

**Création, mise en page et impression :** Akson, Bordeaux (France)

Crédits photos: Akson, Olivier Aumage, Gonzalo Borrà, BBC, BRGM - M. Le Collen, Cap l'Orient, CETMAR, CETMEF, CREA, ECOPLAGE, EUROSION, Colin Faulkingham, Fotolia, France 24, Gold Coast City Council, IHRH, Le Cornec/GéosAEL, NOAA, NUIG, Observatoire de la Côte Aquitaine, ONF, OSPAR, Paskoff, RPS Group Galway, SOGREA, Abdreas Trepte, University of Coimbra, University of Vigo, Wikipedia, Xunta de Galicia